

Peligro de inundación del río Vilcanota en el centro poblado de Písac, Cusco 2018

Mg. Carlos Luna Loayza e-mail: carloslunauac1@hotmail.com
Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.

Bach. Marisol Almanza Ascue e-mail: sol.samash@gmail.com
Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.

Bach. Rosa Nina Mamani e-mail: ronima321@gmail.com
Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.

RESUMEN

Las inundaciones constituyen un peligro natural que en el tiempo han provocado pérdidas de vidas humanas y costosos daños materiales. Históricamente la ciudad de Písac sufre daños importantes por las intensas precipitaciones, el incremento de caudal y desborde del río Vilcanota, por lo que se tomó como objeto de estudio la ciudad de Písac, en vista de que presenta alta vulnerabilidad frente a las inundaciones. Esta investigación se fundamentó mediante la metodología del centro nacional de estimación, prevención y reducción de riesgos de desastres (CENEPRED) mediante un proceso de análisis jerárquico de los factores condicionantes y desencadenantes elegidos, dando como resultado un mapa de peligros, que sectoriza los lugares más propensos a ser afectados; el cual ayudará en la prevención y reducción de pérdidas materiales, económicas, sociales y culturales.

Palabras clave: análisis de procesos jerárquicos, inundaciones, modelación de inundaciones, peligro de inundación, SIG.

Flood danger of Vilcanota river in the city of Pisac, Cusco 2018

ABSTRACT

Floods constitute a natural hazard that over time has caused the loss of human lives and caused costly material damage. According to historical data, the city of Pisac suffered significant damage due to heavy rainfall, increased flow and overflow of the Vilcanota River. Due to this problem, the city of Pisac was taken as an object of study, in view of its high vulnerability to flooding. This research was based on the methodology of the National Center for the estimation, prevention and reduction of disaster risks (CENEPRED) through a process of hierarchical analysis of the conditioning factors and triggers chosen, resulting in a map of hazards, that shows sectors the most prone to be affected, which will help in the prevention and reduction of material, economic, social and cultural losses.

Keywords: hierarchical process analysis, floods, flood modeling, flood danger, GIS.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyen un peligro natural que, a lo largo del tiempo, han provocado la pérdida de vidas humanas y ocasionado costosos daños materiales, por lo que la lucha contra sus efectos negativos no sólo requiere de soluciones estructurales sino también de otras no estructurales como la implantación de sistemas de alerta, la corrección hidrológico - forestal y la correcta aplicación de las medidas de ordenación del territorio (MITECO 2015).

Según datos históricos el centro poblado de Písac ha sufrido daños importantes por las intensas precipitaciones pluviales, como en el año 2010 cuando el incremento de caudal y desborde del río Vilcanota hicieron colapsar el puente de Písac quedándose aislado sin poder recibir turistas para el conjunto arqueológico y sin poder vender sus artesanías que es la principal fuente de trabajo. Fue declarado en emergencia mediante PCM (2010).

Esta investigación se planteó como objetivo general: determinar el peligro de inundación ocasionado por la creciente del río Vilcanota en el centro poblado de Písac, para diferentes periodos de retorno (50, 100 y 500 años), según la metodología del CENEPRED (2014), normativa vigente desde esa fecha hasta la actualidad en Perú, tomando como antecedentes sus diferentes estudios de evaluación de riesgos de desastres y resaltando el estudio denominado Evaluación de riesgo por desborde, inundación y/o erosión fluvial del río Antabamba en los sectores Luychupata, Socco y Mochocco, en el distrito de Tapairihua, provincia de Aymaraes, departamento de Apurímac CENEPRED (2014).

PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS

Localización del área de investigación

Centro poblado de Písac, ubicado en la provincia de Calca, departamento del Cusco-Perú, con un área de estudio de 100 ha, con datos de precipitación máxima 24 horas y datos de caudales máximos entre los años 1964-2017. En la tabla 1 se pueden ver datos generales del centro poblado de Písac con una población proyectada con la tasa intercensal al distrito de 0,52%.

Tabla 1. Datos generales del centro poblado de Písac [Fuente: INEI 2007]

Distrito	Ubicación geográfica			Superficie y densidad poblacional			
	Altitud media	Latitud	Longitud	Superficie	Densidad	Población	Población
	m.s.n.m	Sur	Oeste	km ²		2017	2018
Centro poblado de Písac	2983	17°25'03"	71 °50' 57"	28,21	121,30	3604	3624

Gestión del riesgo de desastres

INDECI (2006) denomina al conjunto de conocimientos, medidas, acciones y procedimientos que, conjuntamente con el uso racional de recursos humanos y materiales, se orientan hacia la planificación de programas y actividades para evitar o reducir los efectos de los desastres. La gestión de desastres, sinónimo de la prevención y atención de desastres, proporciona además todos los pasos necesarios que permiten a la población afectada recuperar su nivel de funcionamiento después un impacto y presenta las fases siguientes:

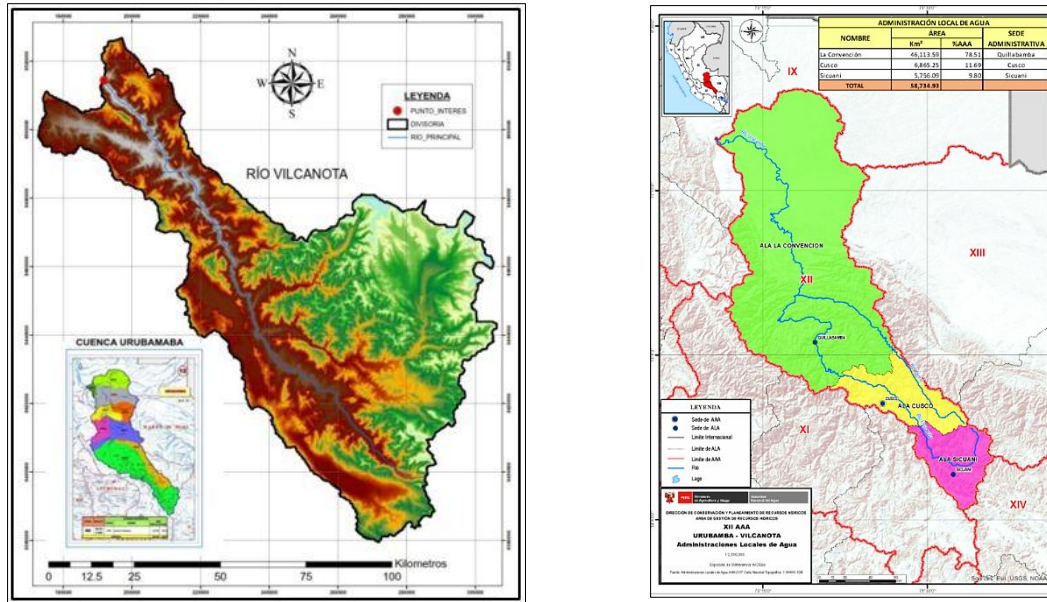


Figura 2. Lado derecho, delimitación de la cuenca del río Vilcanota-lado izquierdo, delimitación de la cuenca de río Urubamba

Precipitación: Análisis exploratorio de estaciones: las estaciones estudiadas presentan registros de precipitaciones máximas 24 horas desde el año 1964 a 2017. Al realizar el análisis exploratorio de estaciones (AED), las elegidas para hacer la presente investigación son Granja Kayra, Sicuani, Acomayo, Ccatcca, Písac y Colquepata, que no presentan tendencia, con menos del 12 % de datos faltantes. Estas estaciones tienen un comportamiento similar de las medias por meses, como se puede apreciar en la figura 3.

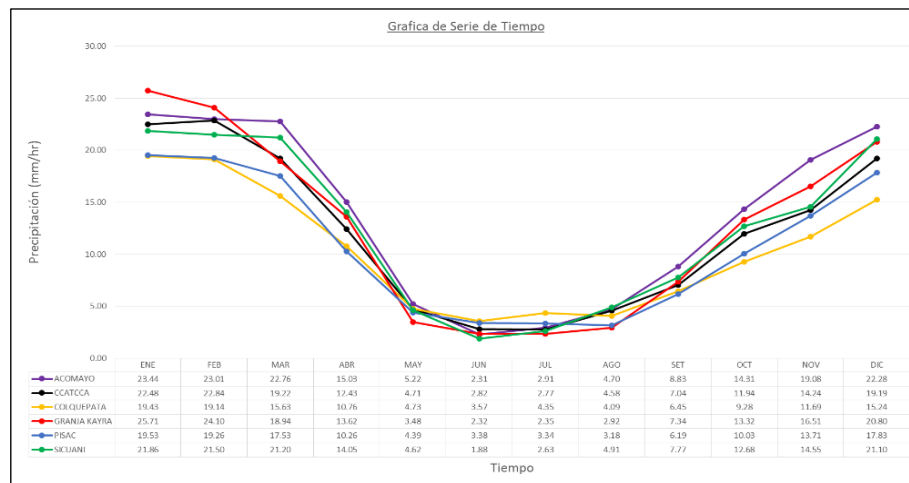


Figura 3. Medias de los datos de precipitación máxima 24 h de las estaciones seleccionadas

Análisis de frecuencias en las estaciones: de las estaciones elegidas Granja Kayra, Colquepata, Písac, Acomayo, Ccatcca y Sicuani, las tres últimas estaciones fueron completadas mediante una distribución Gumbel Máximo con los parámetros: σ = parámetro de escala continua y μ = parámetro de localización continua; las estaciones sobrantes no necesitaban ser completadas debido que presentaban la totalidad de los datos.

Seguidamente se corroboró el buen ajuste de las estaciones mediante las pruebas de Chi-Cuadrado y Kolmogorov – Smirnov, donde se elige la distribución Gumbel Máximo como la de mejor ajuste; mediante ella se generaron las precipitaciones máximas para cada periodo de retorno como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Precipitaciones máximas por estación para periodos de retorno de 50,100 y 500 años

N°	Estaciones	Precipitación (mm) Periodos de retorno		
		T=50	T=100	T=500
1	Sicuni	47,014	50,492	58,529
2	Granja Kayra	53,233	57,513	67,404
3	Acomayo	63,148	69,418	83,906
4	Ccatcca	52,105	56,73	67,417
5	Písac	45,398	49,397	58,638
6	Colquepata	47,915	50,91	56,973

Para el cálculo de la precipitación por área se usó el método de Thiessen mediante el cual se crearon los polígonos, obteniendo los datos presentados en la tabla 3.

Tabla 3. Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno

ID	Estación	Precipitación (mm) T=50 años	Precipitación (mm) T=100 años	Precipitación (mm) T=500 años
1	Acomayo	50,167	54,209	63,536
2	Sicuni			
3	Colquepata			
4	Granja Kayra			
5	Ccatcca			
6	Písac			

El hietograma fue generado a partir de un patrón de tormenta regional de 24 horas de duración basado en la estación Kayra-Cusco, el cual fue obtenido de la investigación: “Evaluación del uso de los Patrones de Tormenta...” (Astete 2014).

En el siguiente hidrograma (ver figura 4) se muestran los caudales simulados para un periodo de retorno de 50 años y para un tiempo de concentración de 1263,810 minutos, habiéndose obtenido un caudal máximo $Q_{max T50} = 596,60 \text{ m}^3/\text{s}$.

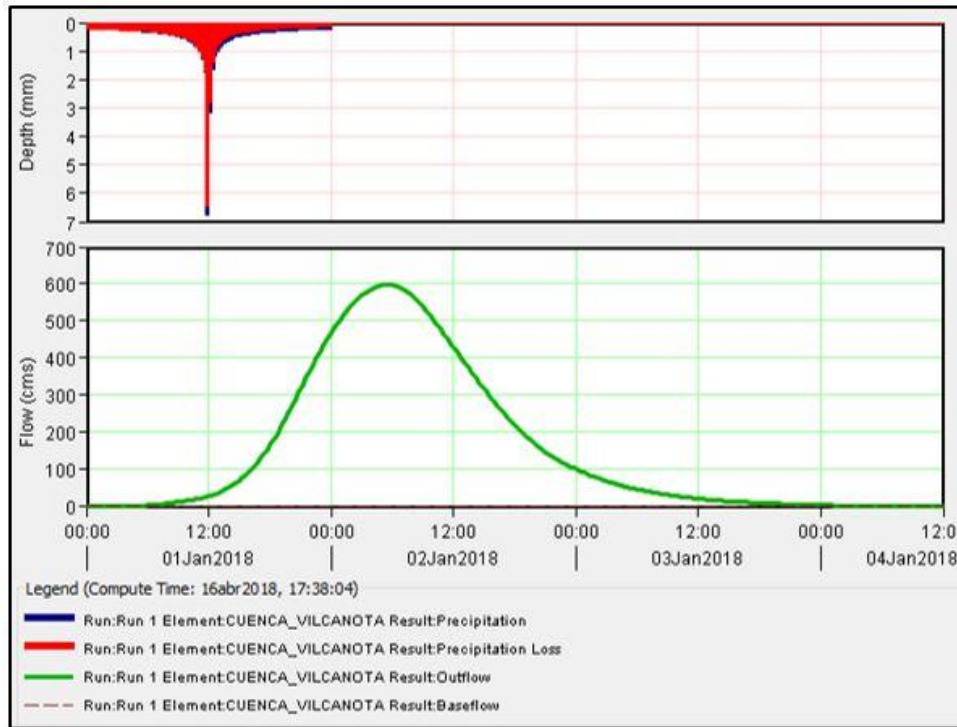


Figura 4. Pérdidas iniciales vs caudal máximo para T = 50 años

En la generación de caudales en HEC-HMS se empleó como método de transformación, el hidrograma unitario SCS, como método de perdidas el número de curva SCS y como tránsito de hidrogramas el método de Muskingum.

Para los tres periodos de retorno se obtuvieron los datos de la tabla 4.

Tabla 4. Caudales Máximos del río Vilcanota hasta el C.P. de Písac

Método	Caudales máximos para diferentes periodos de retorno		
	50 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS
SCS Unit Hydrograph-Patrón de tormenta	596,60 m ³ /s	739,50 m ³ /s	1117,5 m ³ /s

Simulación de la inundación

Aplicación de la extensión HEC-GEORAS: Se complementa con el ArcGIS y es compatible con el software HEC-RAS (USACE 2016). Con esta herramienta se crearon varias capas mediante el comando Create RAS Layers para la elaboración de los archivos raster de la geometría del cauce del Río Vilcanota.

Aplicación del Modelamiento Hidráulico HEC-RAS: Luego de haber creado los layers de la geometría del río utilizando un modelo digital de elevación DEM (ver figura 5), el cual se obtuvo de un levantamiento fotogramétrico del C.P. Pisac con dron Phantom 4 pro, con un tamaño de pixel 1x1m; se procedió a crear el modelo hidráulico en el software HEC-RAS, mediante el cual se simuló la escorrentía superficial del río Vilcanota, generada para diferentes periodos de retorno, en un régimen de circulación no permanente, porque el área en estudio es un río. El coeficiente de Manning utilizado en este modelo es $n=0,040$, calculado mediante la fórmula de

Manning, teniendo en cuenta los datos de la sección de batimetría bajo el puente de Písac y el área que se llegó a inundar en el evento de inundación producido en el año 2010.

Para el cálculo de las áreas de inundación se utilizó el software ArcGIS, al cual se exportaron los archivos generados en el HEC-RAS, luego con el HEC-GeoRas se obtuvo un archivo raster, el cual se superpuso al plano topográfico del lugar. De esta manera se identificaron las llanuras de inundación para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años (ver figura 6).

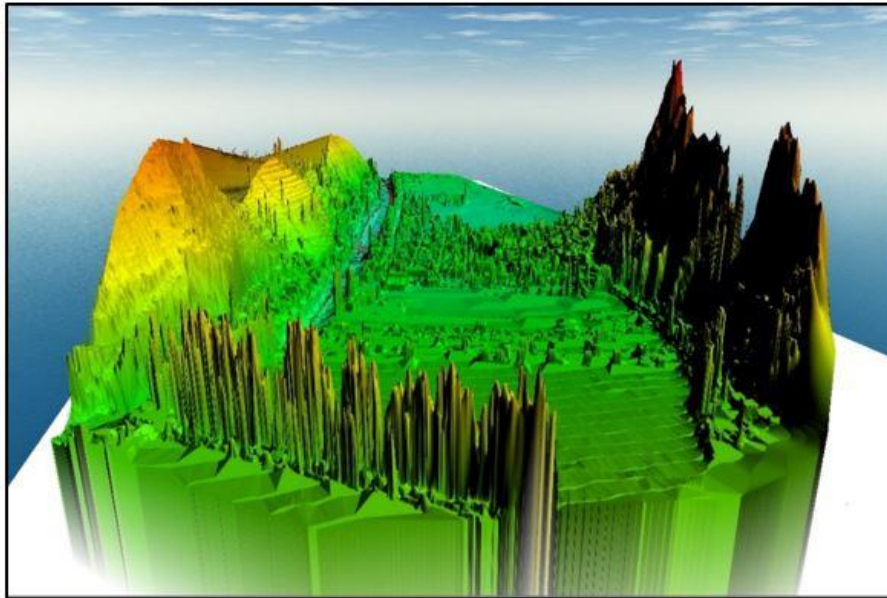


Figura 5. Modelo digital de elevación (DEM) del C.P. de Písac y la sección del río Vilcanota

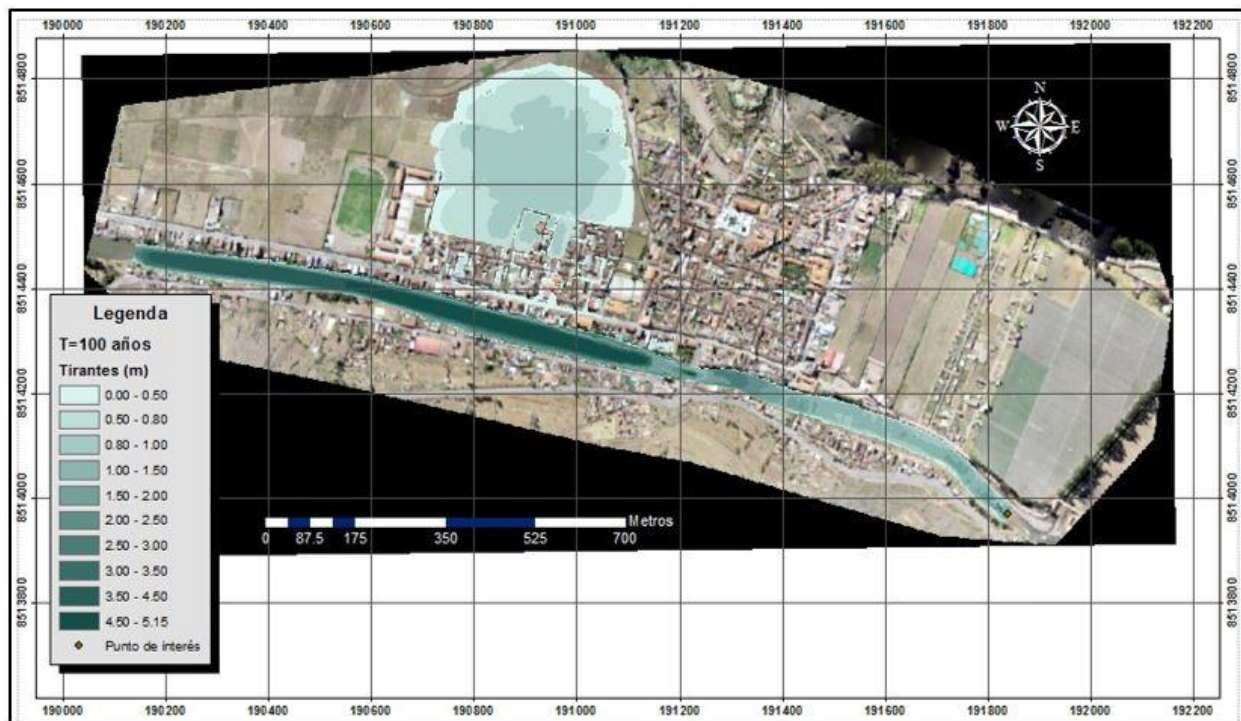


Figura 6. Simulación de inundación en el C.P. de Písac para un periodo de retorno de 100 años

Evaluación del peligro de inundación

AHP (Proceso de Análisis Jerárquico): Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio de que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso (Saaty 1994).

Para obtener el peligro de inundación para los diferentes periodos de retorno, es necesario determinar el parámetro de evaluación, los factores condicionantes y desencadenantes, cada uno con sus respectivos descriptores, que ocasionarán el peligro.

Parámetro de evaluación: la frecuencia, para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

Factores condicionantes: Los factores que contribuyen al desarrollo de la inundación, así como su distribución espacial, en el C.P. de Písac, son:

- Cobertura vegetal
- Cercanía al cauce
- Intensidad de lluvia en una hora
- Pendiente de la superficie de terreno

Factores desencadenantes: El parámetro que desencadena la inundación, que puede generar peligro, son los tirantes correspondientes a los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

Los valores numéricos (pesos) fueron obtenidos mediante el AHP cuyo procedimiento matemático se explica a continuación:

El análisis se inició comparando la fila con respecto a la columna (fila/columna). Se introdujeron los valores en las celdas de color rojo, estos valores se obtienen de un previo análisis del grado de importancia de un parámetro frente a otro haciendo uso de la escala de Saaty, y automáticamente se muestran los valores inversos de las celdas azules (ver tabla 5). Seguidamente se realizó la matriz de normalización, que muestra el vector de priorización (peso ponderado), el cual indica la importancia de cada parámetro en el análisis del fenómeno (ver tabla 6). Se calculó la relación de consistencia, multiplicando cada valor de la primera columna de la matriz de ponderación por la prioridad relativa del primer elemento que se considera y así sucesivamente (ver tabla 7), se sumaron los valores sobre las filas para obtener un vector de valores denominado vector suma ponderada; estos elementos se dividen entre el correspondiente valor de prioridad para cada uno de los criterios obteniendo Λ_n , posteriormente Λ_{max} viene a ser el promedio de los valores de Λ_n , este dato permite calcular el índice de consistencia $IC=(\Lambda_{max} - n)/(n-1)$ determinando así la relación de consistencia el cual debe ser menor del 10% ($RC < 0,1$), lo que indica que los criterios utilizados para la comparación de pares son los más adecuados. Se determinaron los descriptores correspondientes a cada factor condicionante y desencadenante (ver tablas 8, 9, 10, 11 y 12).

Tabla 5. Matriz de ponderación

Factores condicionantes	Pendiente del área de estudio	Cercanía al cauce	Cobertura vegetal	Intensidad de las lluvias en una hora
Pendiente área de estudio	1,00	3,00	3,00	5,00
Cercanía al cauce	0,33	1,00	3,00	3,00
Cobertura vegetal	0,33	0,33	1,00	3,00
Intensidad lluvias una hora	0,20	0,33	0,33	1,00
Suma	1,867	4,667	7,333	12,000
1/Suma	0,536	0,214	0,136	0,083

Tabla 6. Matriz de normalización

Factores condicionantes	Pendiente del área de estudio	Cercanía al cauce	Cobertura vegetal	Intensidad de las lluvias en una hora	Vector priorización	Porcentaje (%)
Pendiente del área de estudio	0,536	0,643	0,409	0,417	0,501	50,11
Cercanía al cauce	0,179	0,214	0,409	0,250	0,263	26,30
Cobertura vegetal	0,179	0,071	0,136	0,250	0,159	15,91
Intensidad de las lluvias en una hora	0,107	0,071	0,045	0,083	0,077	7,68
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	100,00

Tabla 7. Relación de consistencia

Resultados de la operación de matrices				Vector suma ponderada	Λ máx.
0,159	0,088	0,231	0,167	0,644	4,050
0,477	0,263	0,231	0,167	1,138	4,326
0,053	0,088	0,077	0,100	0,318	4,135
0,477	0,789	0,384	0,501	2,152	4,294
Suma					16,805
Promedio					4,201
Índice de consistencia				0,067	
Relación de consistencia < 0,10				0,076	¡OK!

En la tabla 8, el valor PCVn fue obtenido del vector priorización, resultando del mismo proceso de análisis jerárquico explicado previamente, con una matriz de ponderación, matriz de normalización y vector de suma ponderado del parámetro cobertura vegetal.

Tabla 8. Parámetro cobertura vegetal

Factor condicionante	Cobertura vegetal		Peso pond:	0,159
Descriptor	CV1	Corrientes naturales mayores, ribera del río: $n < 0,030$	PCV1	0,503
	CV2	Áreas con intervención antrópica, zona urbana: $0,030 < n < 0,035$	PCV2	0,260
	CV3	Zonas cultivadas: $0,035 < n < 0,040$	PCV3	0,134
	CV4	Zonas de arbustos sin follaje, en terreno limpio: $0,040 < n < 0,060$	PCV4	0,068
	CV5	Matorral subhúmedo de valles interandinos: $n > 0,060$	PCV5	0,035

En la tabla 9, el valor PCERn fue obtenido aplicando el proceso de análisis jerárquico, con una matriz de ponderación, una matriz de normalización y vector de suma ponderado del parámetro cercanía al cauce.

Tabla 9. Parámetro cercanía al cauce

Factor condicionante		Cercanía al cauce	Peso pond:	0,263
Descriptor	CER1	$D < 30$ mts	PCER1	0,451
	CER2	$30 \text{ mts} \leq D < 80$ mts	PCER2	0,295
	CER3	$80 \text{ mts} \leq D < 150$ mts	PCER3	0,145
	CER4	$150 \text{ mts} \leq D < 300$ mts	PCER4	0,072
	CER5	$D \geq 300$ mts	PCER5	0,036

En la tabla 10, el valor PIn, se obtuvo aplicando el proceso de análisis jerárquico, con una matriz de ponderación, una matriz de normalización y vector de suma ponderado del parámetro intensidad de lluvia en una hora.

Tabla 10. Parámetro intensidad de lluvia en una hora

Factor condicionante		Intensidad de lluvia mm/h	Peso pond:	0,077
Descriptor	I1	TORRENCIAL $I \geq 60$ mm/h	PI1	0,503
	I2	MUY FUERTE $30 \text{ mm/h} \leq I < 60$ mm/h	PI2	0,260
	I3	FUERTE $15 \text{ mm/h} \leq I < 30$ mm/h	PI3	0,134
	I4	MODERADA $2 \text{ mm/h} \leq I < 15$ mm/h	PI4	0,068
	I5	DÉBIL $I < 2$ mm/h	PI5	0,035

En la tabla 11, el valor PPENn fue obtenido siguiendo el mismo proceso de análisis jerárquico, para el parámetro pendiente de la superficie de terreno.

Tabla 11. Parámetro pendiente de la superficie de terreno

Factor condicionante		Pendiente de la superficie de terreno	Peso pond:	0,501
Descriptor	PEN1	$PEN < 3\%$	PPEN1	0,503
	PEN2	$3\% \leq PENDING < 12\%$	PPEN2	0,260
	PEN3	$12\% \leq PENDING < 30\%$	PPEN3	0,134
	PEN4	$30\% \leq PENDING < 50\%$	PPEN4	0,068
	PEN5	$PENDING > 50\%$	PPEN5	0,035

En la tabla 12, el valor PTIRn, se obtuvo aplicando el proceso de análisis jerárquico, con una matriz de ponderación, una matriz de normalización y vector de suma ponderado del parámetro tirante para 100 años de periodo de retorno. Los valores de “Y” son resultado de la simulación de inundación.

Tabla 12. Descriptores del parámetro tirante para 100 años de periodo de retorno

Factor desencadenante		Tirantes máximos (m)	Peso pond:	1,000
Descriptor	TIR1	$Y \leq 5,15$ m	PTIR1	0,451
	TIR2	$1,1 \text{ m} < Y \leq 2,2$ m	PTIR2	0,295
	TIR3	$2,2 \text{ m} < Y \leq 3,3$ m	PTIR3	0,145
	TIR4	$3,3 \text{ m} < Y \leq 4,4$ m	PTIR4	0,072
	TIR5	$Y > 4,4$ m	PTIR5	0,036

Cálculo de los niveles de peligrosidad: Para obtener el rango del peligro es necesario promediar los parámetros de evaluación del peligro con la susceptibilidad, se puede observar el proceso en la tabla 13, tabla 14, tabla 15 y tabla 16.

Tabla 13. Niveles de peligrosidad del factor condicionante y desencadenante

Factor condicionante									Factor desencadenante		
Cobertura vegetal		Cercanía al cauce		Intensidad de lluvia		Pendiente de la superficie de terreno		Valor	Tirantes máximos (m)		Valor
0,159	0,50	0,263	0,451	0,077	0,503	0,501	0,503	0,489	1,000	0,451	0,451
	0,26		0,295		0,260		0,269	0,295		0,295	
	0,13		0,145		0,134		0,137	0,145		0,145	
	0,06		0,072		0,068		0,069	0,072		0,072	
	0,03		0,036		0,035		0,035	0,036		0,036	

Tabla 14. Valores de la susceptibilidad

Susceptibilidad				
Factor condicionante		Factor desencadenante		Valor
0,500	0,489	0,500	0,451	0,470
	0,269		0,295	0,282
	0,137		0,145	0,141
	0,069		0,072	0,071
	0,035		0,036	0,035

En la tabla 15, los valores del parámetro de evaluación fueron obtenidos realizando el procedimiento de análisis jerárquico, de acuerdo a la frecuencia de recurrencia de inundaciones muy alta, alta, moderada, baja y muy baja.

Tabla 15. Valores de peligro

Peligro				
Parámetro de evaluación		Susceptibilidad		Valor
0,500	0,457	0,500	0,470	0,464
	0,257		0,282	0,270
	0,150		0,141	0,146
	0,087		0,071	0,079
	0,049		0,035	0,042

Tabla 16. Rango de peligro

Rango			Nivel
0,270	$\leq P <$	0,464	Muy alto
0,146	$\leq P <$	0,270	Alto
0,079	$\leq P <$	0,146	Medio
0,042	$\leq P <$	0,079	Bajo

Los rangos de peligro, se obtuvieron dándole peso de 50 % al parámetro de evaluación y 50 % a la susceptibilidad, según la metodología del CENEPRED, de donde el rango resulta ser un promedio aritmético entre ambos factores (CENEPRED 2014).

Estratificación del nivel de peligro: Se realizó este proceso para los tres periodos de retorno analizados, 50 años, 100 años y 500 años, respectivamente. Ver tabla 17, tabla 18 y tabla 19.

Tabla 17. Estratificación del nivel de peligros para T=50 años

Descripción	Rango	Nivel
La superficie del río tiene orillas rectas, fondo uniforme, algo de vegetación ($n < 0,035$), con cercanía al cauce ($D < 80$ m), con intensidad de lluvia muy fuerte ($I > 30$ mm/h) con pendiente ($PEN < 12\%$); y tirantes de niveles de agua ($4m < Y \leq 4,82m$)	$0,270 \leq P < 0,464$	Muy alto
Áreas con intervención antrópica, zona urbana ($0,035 < n < 0,040$), con cercanía al cauce ($80 \text{ m} \leq D < 150 \text{ m}$), con intensidad de lluvia fuerte ($15 \text{ mm/h} \leq I < 30 \text{ mm/h}$), con pendiente ($12\% \leq PEN < 30\%$) y tirantes de niveles de agua ($3m < Y \leq 4m$)	$0,146 \leq P < 0,270$	Alto
Zonas cultivadas, cultivos sembrados ($0,040 < n < 0,060$), con cercanía al cauce ($150 \text{ m} \leq D < 300 \text{ m}$), con intensidad de lluvia moderada ($2 \text{ mm/hr} \leq I < 15 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($30\% \leq PEN < 50\%$) y tirantes de niveles de agua ($2m < Y \leq 3m$)	$0,079 \leq P < 0,146$	Medio
Zonas de arbustos sin follaje en terreno limpio ($n > 0,060$), con cercanía al cauce ($D > 300 \text{ m}$), con intensidad de lluvia débil ($I < 2 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($PEN > 50\%$) y tirantes de niveles de agua ($1m < Y \leq 2m$)	$0,042 \leq P < 0,079$	Bajo

Tabla 18. Estratificación del nivel de peligros para T=100 años

Descripción	Rango	Nivel
La superficie del río tiene orillas rectas, fondo uniforme, algo de vegetación ($n < 0,035$), con cercanía al cauce ($D < 80$ m), con intensidad de lluvia muy fuerte ($I > 30$ mm/hr) con pendiente ($PEN < 12\%$); y tirantes de niveles de agua ($4,4m < Y \leq 5,15m$)	$0,270 \leq P < 0,464$	Muy alto
Áreas con intervención antrópica, zona urbana ($0,035 < n < 0,040$), con cercanía al cauce ($80 \text{ m} \leq D < 150 \text{ m}$), con intensidad de lluvia fuerte ($15 \text{ mm/hr} \leq I < 30 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($12\% \leq PEN < 30\%$) y tirantes de niveles de agua ($3,3m < Y \leq 4,4m$)	$0,146 \leq P < 0,270$	Alto
Zonas cultivadas, cultivos sembrados ($0,040 < n < 0,060$), con cercanía al cauce ($150 \text{ m} \leq D < 300 \text{ m}$), con intensidad de lluvia moderada ($2 \text{ mm/hr} \leq I < 15 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($30\% \leq PEN < 50\%$) y tirantes de niveles de agua ($2,2m < Y \leq 3,3m$)	$0,079 \leq P < 0,146$	Medio
Zonas de arbustos sin follaje en terreno limpio ($n > 0,060$), con cercanía al cauce ($D > 300 \text{ m}$), con intensidad de lluvia débil ($I < 2 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($PEN > 50\%$) y tirantes de niveles de agua ($1,1m < Y \leq 2,2m$)	$0,042 \leq P < 0,079$	Bajo

Tabla 19. Estratificación del nivel de peligros para T=500 años

Descripción	Rango	Nivel
La superficie del río tiene orillas rectas, fondo uniforme, algo de vegetación ($n < 0,035$), con cercanía al cauce ($D < 80$ m), con intensidad de lluvia muy fuerte ($I > 30$ mm/hr) con pendiente ($PEN < 12\%$); y tirantes de niveles de agua ($5,6m < Y \leq 6,62m$)	$0,270 \leq P < 0,464$	Muy alto
Áreas con intervención antrópica, zona urbana ($0,035 < n < 0,040$), con cercanía al cauce ($80 \text{ m} \leq D < 150 \text{ m}$), con intensidad de lluvia fuerte ($15 \text{ mm/hr} \leq I < 30 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($12\% \leq PEN < 30\%$) y tirantes de niveles de agua ($4,2m < Y \leq 5,6m$)	$0,146 \leq P < 0,270$	Alto
Zonas cultivadas, cultivos sembrados ($0,040 < n < 0,060$), con cercanía al cauce ($150 \text{ m} \leq D < 300 \text{ m}$), con intensidad de lluvia moderada ($2 \text{ mm/hr} \leq I < 15 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($30\% \leq PEN < 50\%$) y tirantes de niveles de agua ($2,8m < Y \leq 4,2m$)	$0,079 \leq P < 0,146$	Medio
Zonas de arbustos sin follaje en terreno limpio ($n > 0,060$), con cercanía al cauce ($D > 300 \text{ m}$), con intensidad de lluvia débil ($I < 2 \text{ mm/hr}$), con pendiente ($PEN > 50\%$) y tirantes de niveles de agua ($1,4m < Y \leq 2,8m$)	$0,042 \leq P < 0,079$	Bajo

Considerando la estratificación del peligro y mediante una superposición de los mapas de factores condicionantes, desencadenantes y magnitud, se obtiene el mapa final de peligro de inundación para los tres periodos de retorno (ver figura 7, figura 8 y figura 9).

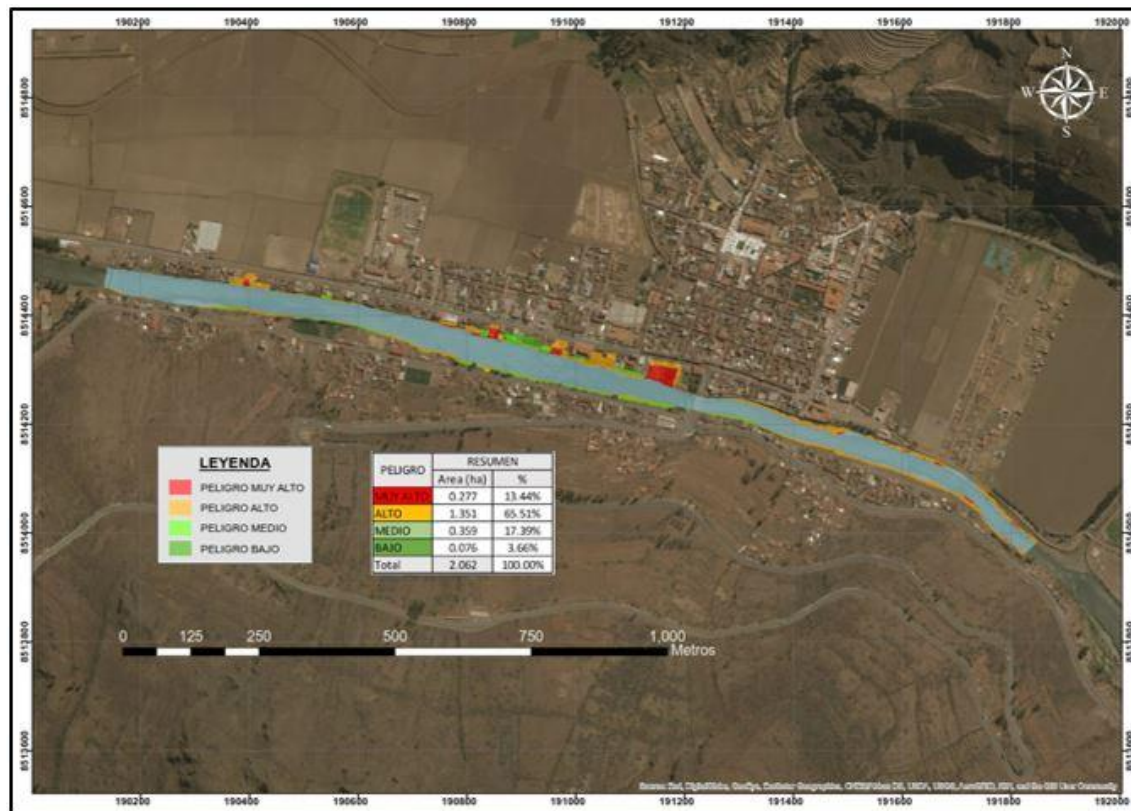


Figura 7. Mapa de peligro de inundación T=50 años

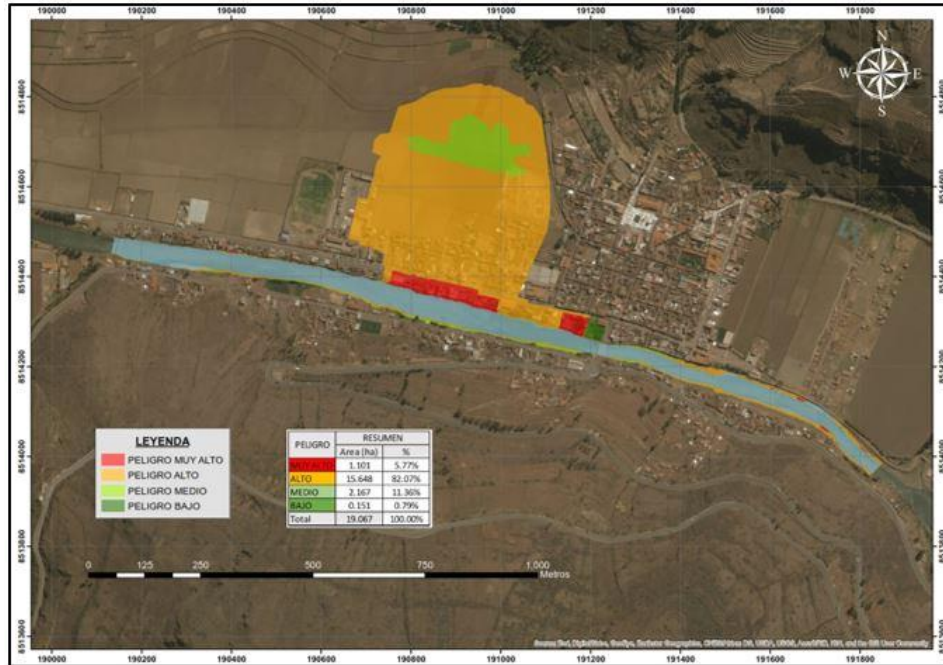


Figura 8. Mapa de peligro de inundación T=100 años

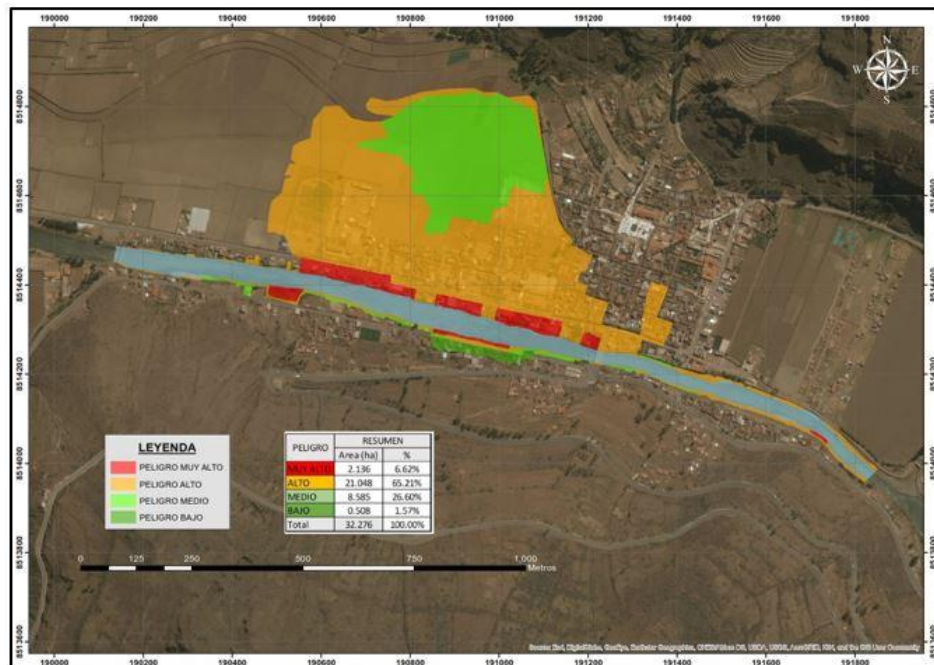


Figura 9. Mapa de peligro de inundación T=500 años

CONCLUSIONES

- El área con peligro alto de inundación para 50 años ubicada aguas arriba del puente Písac, no llega a sobrepasar la defensa ribereña, asimismo, aguas abajo del puente Písac las áreas con peligro alto sí muestran perjuicio a 34 viviendas solo en la margen derecha.

- El área con peligro de inundación alto para 100 años, afecta a gran parte de la ciudad de Písac, especialmente aguas abajo del puente Písac, en la margen derecha. Dentro de esta área afectada, actualmente se encuentran centros artesanales, 165 viviendas, la carretera Písac-Calca en 300 metros y un área de 11,59 ha de cultivos.
- El área con peligro de inundación alto para 500 años, incluye el campo deportivo, 342 viviendas, un centro educativo, un centro de salud, el puente Písac, la comisaria PNP de Písac, la carretera Písac-Calca en 850 metros aproximadamente y un área de 15,72 ha de cultivos.
- El centro poblado de Písac, se encuentra en peligro alto ante inundaciones, lo que implicaría pérdidas sociales, económicas y ambientales, por lo que se hace necesaria la implementación de medidas estructurales y no estructurales para prevenir pérdidas.

REFERENCIAS

- Astete E.** (2014). "Evaluación del uso de los Patrones de Tormenta propuesto por la Natural Resources Conservation Service, Estación Meteorológica de Kayra, 2013". Tesis de post grado, Universidad San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- CENEPRED** (2014). "Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales". 2da versión, Biblioteca Nacional del Perú, Lima, Perú.
- INDECI** (2006). "Manual básico para la estimación de riesgo". Documento interno. Instituto Nacional de Defensa Civil, Lima, Perú.
- INEI** (2007). "Censo de Población y Vivienda". Documento interno. Instituto Nacional de Defensa Civil. Lima, Perú. Extraído de <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/publicaciones-digitales/> en agosto 2018.
- USACE** (2016). "Hec-Ras river analysis system". US Army Corps of Engineers, USA. Extraído de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf> en junio 2018.
- MITECO** (2015). "Evaluación preliminar del riesgo de inundación". Confederación Hidrográfica del Miño-Sil O.A., Extraído de <https://www.chminosil.es/es/ide-mino-sil/80-chms/857-evaluacion-preliminar-del-riesgo-de-inundacion> en febrero 2018
- PCM** (2010). "Decreto Supremo N 015-2010 PCM". Ed. El Peruano, Lima, Perú.
- Saaty T.** (1994). "How to make a decision: the analytic hierarchy process". University of Pittsburgh. ISSN 1592-6117, 1724-2118. Pennsylvania, United States.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Carlos Luna Loayza <https://orcid.org/0000-0002-5595-5707>

Realizó contribuciones en la asesoría y seguimiento al estudio hidrológico, generación de caudales y simulación hidráulica del río Vilcanota en el tramo del Centro Poblado de Písac.

Marisol Almanza Ascue <https://orcid.org/0000-0002-9622-6842>

Realizó contribuciones en el estudio hidrológico, generación de caudales y simulación hidráulica del río Vilcanota en el tramo del Centro Poblado de Písac.

Rosa Nina Mamani <https://orcid.org/0000-0002-6134-9754> Realizó contribuciones en el desarrollo la metodología Saaty y la generación de mapas de los factores condicionantes, utilizando la metodología del CENEPRED vigente.